

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-324262

(43)公開日 平成6年(1994)11月25日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>  
G 0 2 B 13/00  
27/42

識別記号  
9120-2K  
9120-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3 FD (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平5-132446

(22)出願日 平成5年(1993)5月11日

(71)出願人 000000376  
オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 俊藤 尚志  
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ  
ンパス光学工業株式会社内

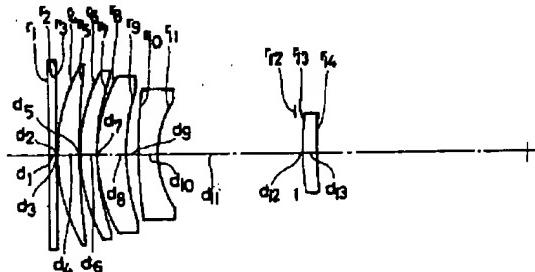
(74)代理人 弁理士 向 寛二

(54)【発明の名称】 撮像光学系

(57)【要約】

【目的】 本発明は、色収差を含めた諸収差が良好に補正された撮像光学系を提供することを目的とする。

【構成】 本発明の撮像光学系は、少なくとも1枚の正の屈折力をもつ回折型光学素子と、少なくとも1枚の正の屈折力をもつ屈折型光学素子と、少なくとも1枚の負の屈折力をもつ屈折型光学素子により構成し、色収差を含む諸収差を良好に補正してある。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】少なくとも1枚の正の屈折力を持った回折型光学素子と、少なくとも1枚の正の屈折力を持った屈折型光学素子と、少なくとも1枚の負の屈折力をもった屈折型光学素子より構成された撮像光学系。

【請求項2】前記回折型光学素子の焦点距離を $f_{DOE}$ 、全系の焦点距離を $f$ としたとき、次の条件(1)を満足することを特徴とする請求項1の撮像光学系。

$$(1) \quad 0.005 < f/f_{DOE} < 0.05$$

【請求項3】少なくとも1枚の正の屈折力を持った回折型光学素子と、少なくとも1枚の正の屈折力を持った屈折型光学素子と、少なくとも1枚の負の屈折力をもった屈折型光学素子とからなる撮像光学系と、該撮像光学系により形成された像を受ける撮像素子とを備えた撮像装置であって、前記回折型光学素子の波長 $\lambda$ の回折効率を $E(\lambda)$ 、撮像光学系全体の波長 $\lambda$ の透過率を $T(\lambda)$ 、撮像素子の分光感度特性を $B(\lambda)$ とするととき、次の条件(2)を満足することを特徴とする撮像光学系。

$$(2) \quad 0.85 < \int E(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda / \int T(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda < 1$$

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、色収差が良好に補正された撮像光学系に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】一般に撮像光学系は、良好な結像性能が求められる。結像性能には、一点から発した光束を一点に収束させる性能（スポットの収束性）、歪曲収差、像面湾曲などがあり、それぞれフィルム等の感光素子が感度を持つ波長域のひかりが同じ点に収束すること（色収差の良好な補正）が求められる。

【0003】従来、以上の条件を満足し、さらにコンパクト化、低コスト化、量産性、撮像システムとの適合性を考慮した数々の撮像光学系が提案してきた。

【0004】一方、近年では回折型光学素子（DOE）を撮像光学系に応用する試みがなされている。回折型光学素子に関しては「光学」第22巻第126頁～130頁等に紹介されており、また回折型光学素子を撮像光学系に用いることに関しては「S P I E」第1354巻第24～37頁に記載された2つの論文に開示がある。

【0005】又スポットの収束性に関しては、従来、正の屈折力をもつ回折型光学素子と負の屈折力をもつ回折型光学素子の組合せによって収差補正を行なっている。更に1枚の非球面レンズや回折型光学素子で单一物点に対するスポットの収束性が確保されることが知られているが、像面全域のスポットの収束や、歪曲収差、像面湾曲を補正することは出来ない。特に望遠レンズと呼ばれる画角が $2\omega < 15^\circ$ のレンズ系では、全長を短くするために物点側より、正の屈折力をもつ回折型光

2

学素子と負の屈折力をもつ回折型光学素子で構成するいわゆる望遠タイプの光学系が数多く採用されている。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】軸上色収差の発生原因の大きなものは、波長により焦点距離が異なることがある。波長 $\lambda_A$ での焦点距離が基準波長 $\lambda_d$ での焦点距離のA倍であるような光学系の場合、波長 $\lambda_d$ に対する波長 $\lambda_A$ の軸上色収差 $\delta_{A-d}$ は、波長 $\lambda_d$ に対する全系の焦点距離を $f$ とすると概略次の式で示すことが出来る。

## 【0007】

$$\delta_{A-d} = (A-1) f \quad (3)$$

この式からわかるように、光学系の焦点距離が長くなる程色収差が大きくなりやすい。つまり特に望遠レンズにおいて色収差の補正が困難であることを示している。

【0008】色収差は、一般に材質ごとに波長に対する屈折率の変化の割合（分散）が異なることをを利用して補正される。正の焦点距離を持つ光学系の場合、正の屈折力をもつ光学素子に分散の小さい材質を、負の屈折力をもつ光学素子に分散の大きい材質を用いて色収差を補正

する。しかし、前述のように光学素子を組合わせて色収差を補正する場合、色収差だけではなく像面全体の結像性能をも考慮しなければならず、そのため特に像面の対角長に対して口径が1.2倍以上の望遠レンズでは色収差を十分に補正するのが困難で、光学素子の枚数を増やしたり、螢石や超低分散ガラス等のような特殊なガラスを用いなければならない。しかし螢石は高価であり、又材質が軟らかいため研磨が難しい。更にガラスやプラスチックの材質で回折型光学素子（レンズ）を形成するとき、材質により差があるが、短波長から長波長に波長が変化するにつれて屈折率が低くなりさらにその変化の程度が緩やかになる。

【0009】図6は、550nmの波長で屈折力（焦点距離の逆数）が1となる単レンズを代表的な硝子材料と超低分散ガラスと呼ばれる材質で構成した時の、波長による屈折力の変化を示す図である。又図5は、500nmを基準にした時、後に示す本発明の実施例と従来の回折型光学素子のみからなる光学系の波長に対する後側焦点位置のずれ量を示す図で、この図において横軸が波長で縦軸がずれ量であり又実線が回折型光学素子のみからなる光学系、破線が本発明の実施例である。

【0010】図6からわかるように回折型光学素子は、普通の材質も超低分散の材質も波長に対するパワーの変化は同じような傾向であるので、実用的な範囲の材質よりも回折型光学素子で構成された撮像光学系の軸上色収差は、図5に実線で示すようにV字型になり、二つの波長でのみ同じ点に結像し短波長側と長波長側で色収差が大になる。

【0011】一方、回折型光学素子は、波長による屈折力の変化が図7に示す通りで回折型光学素子に比べて分散の傾向が逆で、かつその割合が大である。そのため、

3

「光学」22巻126~130頁等に記載されているように、正の屈折力をもった回折型光学素子と正の屈折力をもった屈折型光学素子を組合わせて色消しが可能になる。しかし像面の対角長に対して口径が1.5倍を越えるような撮像レンズでは、他の収差を良好に補正出来ない。又回折型光学素子は、総合的な回折効率が屈折型光学素子の表面透過率（表面反射率と表面透過率を加えると100%である）に対し低いという問題がある。

【0012】本発明の目的は、色収差を含めた諸収差が良好に補正された撮像光学系を提供することにある。

#### 【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の撮像光学系は、少なくとも1枚の正の屈折力を持った回折型光学素子と、少なくとも1枚の正の屈折力を持った屈折型光学素子と、少なくとも1枚の負の屈折力を持った屈折型光学素子にて構成されるものである。

【0014】前記のような構成の本発明の光学系において、少なくとも1枚の正の屈折力を持った屈折型光学素子と少なくとも1枚の負の屈折力を持った屈折型光学素子は、主としてスポットの収束性、像面湾曲、歪曲収差等を補正するもので従来の撮像光学系と同じような構成を有している。これに正の屈折力を持った回折型光学素子を加えると、広い波長域にわたって色収差を補正することが出来る。図6、図7からわかるように、回折型光学素子は、分散性が大きいだけでなく、波長による屈折力の変化の直線性が良く、一方屈折型光学素子は線型性が悪い。

【0015】前記の回折型光学素子は、キノフォームと呼ばれる鋸状の形状にすることにより回折効率をあげることが出来るので、実際には鋸状の形状を階段状で表現するバイナリーオプティクス（binary optics）で製作することが多い。この回折型光学素子のパワーを強くすると、中心と周辺とで鋸状のピッチの差が\*

$r_1 = \infty$	$d_1 = 1.67$
$r_2 = \infty$	$d_2 = 0.01$
$r_3 = \infty$	$d_3 = 0.06$
$r_4 = 35.316$	$d_4 = 4.55$
$r_5 = 155.367$	$d_5 = 0.10$
$r_6 = 35.104$	$d_6 = 3.13$
$r_7 = 45.851$	$d_7 = 0.08$
$r_8 = 32.034$	$d_8 = 5.63$
$r_9 = 43.533$	$d_9 = 2.49$
$r_{10} = 93.986$	$d_{10} = 3.62$
$r_{11} = 18.750$	$d_{11} = 27.71$
$r_{12} = \text{絞り}$	$d_{12} = 1.24$
$r_{13} = 54.335$	$d_{13} = 2.88$
$r_{14} = 126.188$	

$$f = 100, F\text{ナンバー} = 2.87, 2\omega = 13.8^\circ, f_{\text{DOE}} = 4264.11$$

上記データー中  $r_1, r_2, \dots$  は各面の曲率半径、 $d_1, d_2, \dots$  は各面間隔、 $n_1, n_2, \dots$  は各レンズのアッペ数で、 $\nu_1, \nu_2, \dots$  は各レンズの屈折率、 $\nu_1, \nu_2, \dots$  は各レンズのアッペ数である。データー中  $r_1, r_2$  は回折型光学素子の基板で

4

\* 大になり、製作が困難になり、歩留りの低下等によるコストアップとなる。又総合的な回折効率が低下する。

【0016】しかし、本発明の撮像光学系は、前記のような構成であるので、屈折型光学素子のみで収差がほぼ補正されているため回折型光学素子のパワーを大にする必要はない。

【0017】本発明の撮像光学系において、前記の回折型光学素子のパワーを下記条件（1）を満足するようすればより望ましい。

#### 10 【0018】

(1)  $0.005 < f / f_{\text{DOE}} < 0.05$   
ただし、 $f$  は全系の焦点距離、 $f_{\text{DOE}}$  は回折型光学素子の焦点距離である。

【0019】この条件（1）の下限0.005を越えると色収差を十分良好に補正することが出来ず、上限0.05を越えると回折型光学素子の製作が困難になる。

【0020】本発明では、回折型光学素子と屈折型光学素子を組合わせて光学系を構成したので、回折型光学素子は1枚でもよく、そのため回折効率の影響を受けにくいが、下記の条件（2）を満足すれば、更に望ましい。

【0021】(2)  $0.85 < \int E(\lambda) \cdot T(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda / \int T(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot d\lambda < 1$

ただし、 $E(\lambda)$  は回折光学素子の波長入の回折効率、 $T(\lambda)$  は撮像光学系全体の波長入の透過率、 $B(\lambda)$  は撮像素子の分光感度特性である。

【0022】条件（2）において下限0.85を越えると撮像面でのフレアーガが増大し現像や再生時に調整しても良好な像が得られない。

#### 30 【0023】

【実施例】次に本発明の撮像光学系の実施例を示すと図1に示す通りの構成で、下記のデーターを有する。

$$n_1 = 1.51633 \quad \nu_1 = 64.15$$

（回折型光学素子面）

$$n_3 = 1.63930 \quad \nu_3 = 44.88$$

$$n_4 = 1.63854 \quad \nu_4 = 55.38$$

$$n_5 = 1.69350 \quad \nu_5 = 50.81$$

$$n_6 = 1.76182 \quad \nu_6 = 26.55$$

$$n_7 = 1.72151 \quad \nu_7 = 29.24$$

その表面の $r_2$ に回折型光学素子が設けられている。つまり $r_3, d_3$ が回折型光学素子を表わしている。回折型光学素子の設計は、ウルトラ ハイ インディクス レンズを用いて行なうことが出来、上記実施例もウルトラ ハイ インディクス レンズを用いて設計した。

【0024】この実施例は、正の屈折力の回折型光学素子と正の屈折力の回折型光学素子3枚と負の屈折力の屈\*

$r_1 = 35.345$	$d_1 = 4.55$
$r_2 = 155.061$	$d_2 = 0.10$
$r_3 = 35.042$	$d_3 = 3.13$
$r_4 = 46.026$	$d_4 = 0.08$
$r_5 = 31.922$	$d_5 = 5.63$
$r_6 = 43.494$	$d_6 = 2.49$
$r_7 = 94.289$	$d_7 = 3.63$
$r_8 = 18.747$	$d_8 = 27.70$
$r_9 = \text{絞り}$	$d_9 = 1.22$
$r_{10} = 52.743$	$d_{10} = 2.88$
$r_{11} = 125.676$	

$$f=100, F\text{ナンバー}=2.87, 2\omega=13.8^\circ$$

この光学系の収差状況は、図4に示す通りである。

【0026】図2に示す本発明の実施例の収差状況と図4に示す図3の光学系の収差状況とを比較すると、図2の収差状況は、図4の収差状況に比べて明らかに色収差が小さくなっている。又図5は本発明の実施例と図3に示す回折型光学素子のみからなる光学系との550nmを基準にした各波長の後側焦点位置を示す図である。この図からもわかるように図1に示す本発明の実施例の後側焦点位置のばらつきは少なく、更に三つの波長の後側焦点位置が同じ位置にあり、式(3)から推定すると焦点距離が長くとも色収差が大にならないことがわかる。

【0027】この実施例において非球面レンズを用いるか、回折型光学素子に非球面効果を持たせることによりスポットの収束性や、像面湾曲、歪曲収差をさらに良好に補正出来、又回折型光学素子の枚数を減らすことが出来る。

【0028】回折光学素子の回折面は、バイナリーオプティックスで構成し、レプリカで製作することによって、製作コストを低減出来る。又回折型光学素子の基材にフィルター機能を持たせたり、基材を固定する鏡枠にフィルターを装着し得るようにしてもよい。又回折効率の分光特性と適合するようなフィルターを装着してもよい。

\* 折型光学素子と正の屈折力の屈折型光学素子よりなる。この実施例の収差状況は図3に示す通り良好に補正されている。

【0025】又図2は、図1の光学系において回折型光学素子を除いた屈折型光学素子のみによる光学系で下記のデーターを有する。

$n_1 = 1.63854$	$\nu_1 = 55.38$
$n_2 = 1.63854$	$\nu_2 = 55.38$
$n_3 = 1.69350$	$\nu_3 = 50.81$
$n_4 = 1.76182$	$\nu_4 = 26.55$
$n_5 = 1.72151$	$\nu_5 = 29.24$

20※【0029】又CCD等の光電変換素子等を撮像素子として使う時、回折出来なかった光によって生ずるフレアーレを直流成分として除去してもよい。又カラー撮像の場合、各色フィルターの透過率を回折効率の分光特性と適合するようにしてもよい。又フィルムを用いての撮影の場合、撮影時に露光量を少なめにするか、フィルムから印画紙に焼き付ける際にコントラストの高い印画紙を用いるか、露光量を少なくして現像時間を長めにすることによりフレアーレの影響を少なくできる。

#### 【0030】

30 【発明の効果】本発明によれば、諸収差、特に色収差を良好に補正した撮像光学系を得ることが出来る。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例の断面図

【図2】本発明の実施例の収差曲線図

【図3】回折型光学素子のみからなる光学系の断面図

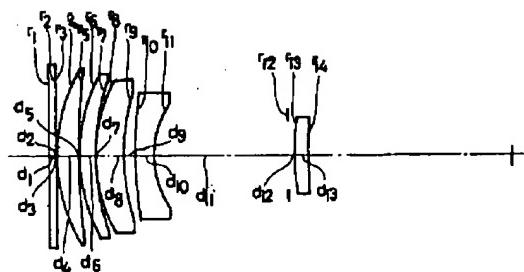
【図4】図3に示す光学系の収差曲線図

【図5】本発明の実施例と図3に示す光学系との波長と後側焦点位置との関係を示す図

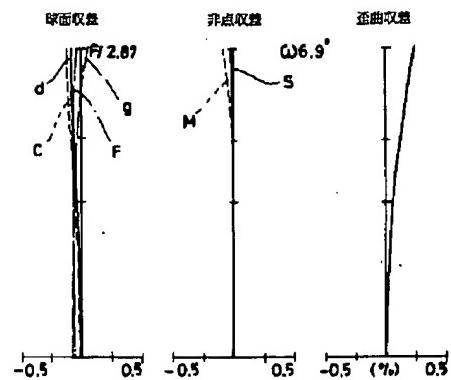
【図6】回折型光学素子の波長と屈折力との関係を示す図

【図7】回折型光学素子の波長と屈折力との関係を示す図

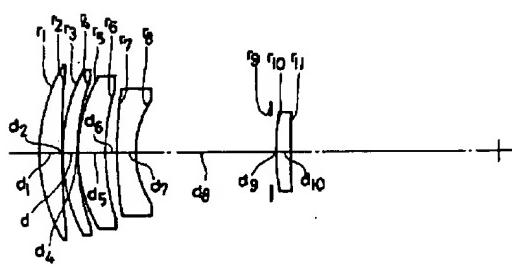
【図1】



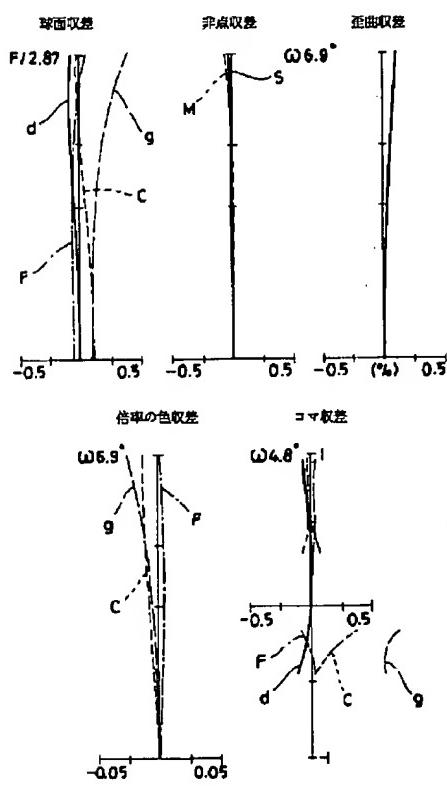
【図2】



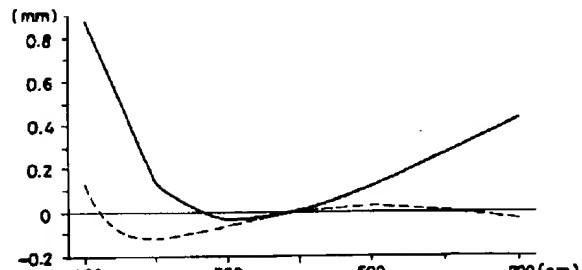
【図3】



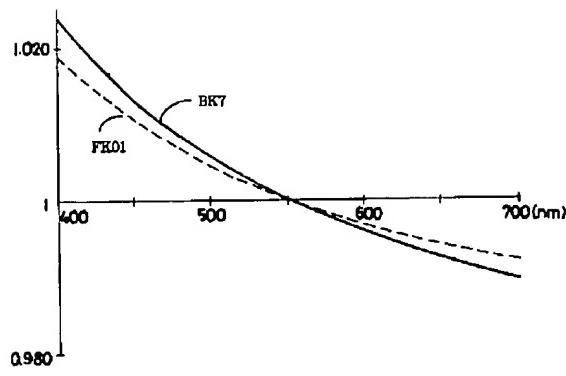
【図4】



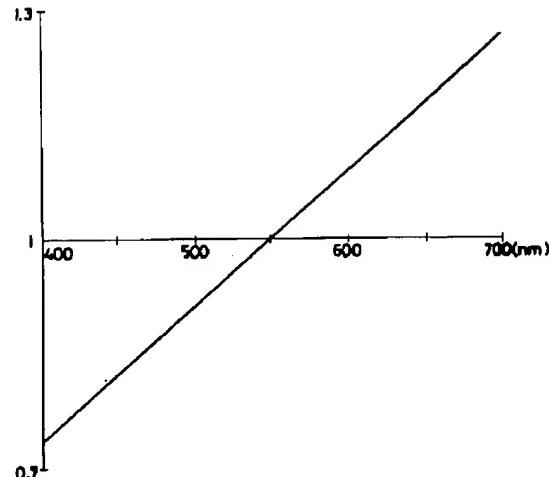
【図5】



【図6】



【図7】



## 【手続補正書】

【提出日】平成5年8月23日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0002

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0002】

【従来の技術】一般に撮像光学系は、良好な結像性能が求められる。結像性能には、一点から発した光束を一点に収束させる性能（スポットの収束性）、歪曲収差、像面湾曲などがあり、それぞれフィルム等の撮像素子が感度を持つ波長域の光が同じ点に収束すること（色収差の良好な補正）が求められる。

## 【手続補正2】

## 【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0009

【補正方法】変更

## 【補正内容】

【0009】図6は、550 nmの波長で屈折力（焦点距離の逆数）が1となる単レンズを代表的な硝子材料と超低分散ガラスと呼ばれる材質で構成した時の、波長による屈折力の変化を示す図である。又図5は、550 nmを基準にした時、後に示す本発明の実施例と従来の屈折型光学素子のみからなる光学系の波長に対する後側焦点位置のずれ量を示す図で、この図において横軸が波長で縦軸がずれ量であり又実線が屈折型光学素子のみからなる光学系、破線が本発明の実施例である。